

**В.О. ПАНЧЕНКО**, Полтавський національний технічний університет  
ім. Юрія Кондратюка

## **ДИНАМІЧНА ПОХИБКА ПРИ ОДЕРЖАННІ ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ СПАДУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В СИСТЕМІ ДІАГНОСТИКИ ТА КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ЗАЛІЗОБЕТОНУ**

Стаття описує сучасні проблеми діагностики систем катодного захисту залізобетону. Публікація розкриває проблему динамічної похибки при вимірюванні функції спаду поляризаційного потенціалу. В результаті досліджень була отримана математична модель об'єкту – залізобетону. Пропонується математична формула розрахунку величини динамічної похибки. Формула враховує параметри моделі залізобетону і діагностичної системи.

The article describes the modern problems of diagnostics of the systems of cathode defence of the reinforced concrete. A publication exposes the problem of dynamic error at measuring of function of slump of polarization potential. As a result of researches the mathematical model of object was got – the reinforced concrete. The mathematical formula of calculation of size of dynamic error is offered. A formula takes into account the parameters of model of the reinforced concrete and diagnostic system.

Одна з головних причин руйнування залізобетонних конструкцій – корозія сталеві арматури. Запобігти корозії, що вже почалася, здатний тільки електрохімічний - катодний метод захисту. Застосування даного методу в країнах Західної Європи і США показало його високу економічну ефективність [1]. Проте в технології катодного захисту залізобетону існує ряд інженерних та наукових проблем, що і обумовлюють сучасне проведення подальших науково-дослідницьких робіт, про що свідчить і постійний потік наукових публікацій та всесвітніх конференцій за тематикою катодного захисту. Так, виділяється різноманіття середовищ експлуатації залізобетонних споруд, різноманіття особливостей протікання процесу корозії в них. Вводяться також в експлуатацію якісно нові споруди, наприклад, із заздалегідь напруженою арматурою, що потребують виконання більш жорстких технологічних вимог до якості захисту. Самим ж експлуатаційним умовам використання споруд властива і стохастична зміна хімічних та фізичних параметрів, а отже й стохастична зміна критеріїв якості катодного захисту, таких як необхідний рівень інтенсивності поляризації. Недостатній рівень – знижує ефективність. Надмірний – приводить до значного збільшення втрат електричної енергії і навіть до руйнації самої залізобетонної конструкції.

Розвиток технології катодного захисту, підняття його якості та ефективності залежить в першу чергу від можливостей системи діагностування. А отже ефективність роботи любого пристрою катодного захисту буде залежати саме від інформативних можливостей його системи діагностики, рівня технологій неруйнуючого контролю, яким цей пристрій і оснащений.

Виділяється досить масштабний спектр діагностичних систем корозійних процесів, але їх потужні можливості знаходяться в площині саме лабораторного вимірювання. В реальних же експлуатаційних умовах їх використання значно обмежене. Параметр, за яким судять об ефективності катодного захисту, є поляризаційний потенціал, значення якого отримується через спеціальний електрод порівняння. Однак величина потенціалу дає лише часткову інформацію, щодо стану об'єкту і якості протікання самого процесу катодного захисту. Звідси актуальне питання щодо дослідження нових методів та розробки пристроїв діагностування, як корозійного стану залізобетону, так і контролю процесом поляризації металу в бетоні. Пристроїв, які б входили до загального комплексу автономної катодної системи.

Існує певна технічна проблема виміру поляризаційного потенціалу, що пов'язана з одночасною фіксацією електродом величини падіння напруги на шарі бетону при поляризації. Одним з найпоширеніших методів контролю поляризаційного потенціалу є комутаційний метод, що полягає в замірі потенціалу за деякий проміжок часу після зникнення поляризаційного струму. За двома значеннями, що отримуються після переривання кола поляризації, та методом екстраполювання можна отримати реальну величину потенціалу без величини падіння напруги на захисному шарі бетону.

Як відомо, аналіз будь якого перехідного процесу спаду координати – перехідної функції, може бути використаний для визначення невідомих параметрів об'єкту, а отже його ідентифікації. Проведені нами дослідження вказують, що результати аналізу перехідної функції поляризаційного потенціалу розширюють інформативні можливості діагностичної системи пристрою катодного захисту, і здатні покращити якість процесу катодного захисту залізобетону. Також був виявлений зв'язок між отриманими характеристичними параметрами ознак та концентрацією хлоридів у шарі бетону. Таким чином, було зроблено висновок, що комутаційний метод виміру поляризаційного потенціалу розширює інформативність діагностичної системи та відкриває можливості для побудови адаптивних систем катодного захисту, бо дозволяє визначати невідомі для традиційної класичної системи контролю динамічні та статичні електричні характеристики вихідної електрохімічної системи. Але реалізація зняття перехідної функції зв'язана з технічними труднощами. А отже: необхідно фіксувати значення перехідної функції на джерелі, що має високий внутрішній опір і малу потужність. При дослідженні комутаційного методу контролю потенціалу металу в бетоні було отримано висновок о досить великому впливу на точність заміру динамічної похибки, що зумовлена сміністю лінії діагностичного каналу та досить високого внутрішнього вхідного опору вимірювального пристрою. Зниження опору не допускається технологією заміру потенціалу. Нами була поставлена задача в побудові математичної моделі системи «об'єкт керування – діагностичний канал», з отриманням математична залежність величини динамічної похибки виміру перехідної функції поляризаційного потенціалу і зв'язком її з параме-

трами об'єкту – залізобетону, а також з параметрами каналу діагностичної системи.

Динамічна похибка  $\Delta U_R(t)$  виникає при розряді діагностичного каналу через загальний опір ділянки „електрод порівняння - катод”. Величина, що замірюється вимірювальним пристроєм  $U_{\text{еп}}(t)$ , являє собою суму функцій динамічної похибки  $\Delta U_R(t)$  і поляризаційного потенціалу  $j(t)$ . Динамічну похибку можна визначити з наступного диференційного рівняння:

$$U_{\text{еп}}(t) - R_p \cdot C_{\text{діаг}} \frac{dU_{\text{еп}}}{dt} = j(t),$$

де  $R_p$  – опір розтіканню струму розряду діагностичного каналу,  $C_{\text{діаг}}$  – сумарна ємність лінії зв'язку та вимірювального пристрою.

Похибку можливо обчислити лише при відомій функції спаду поляризаційного потенціалу  $j(t)$ , але вона заздалегідь невідома, так як сама являється результатом діагностики. Для вирішення цієї проблеми необхідно мати модель об'єкта поляризації в даній системі.

Нами було проведено дослідження залізобетону як об'єкта поляризації в системі катодного захисту при використанні комутаційного методу контролю потенціалу. Для дослідження було побудовано лабораторне устаткування, що дозволяє досліджувати перехідну функцію спаду поляризаційного потенціалу після зникнення катодної поляризації. На основі експериментальних досліджень було отримано динамічну модель залізобетону [2], що описується передаточною функцією:

$$h(p) / I_s(p) = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{1 + T_i p},$$

де  $h(p)$  – зображення функції перенапруги  $h(t)$ .

$$h(t) = j(t) - j_0,$$

де  $j_0$  - величина стаціонарного поляризаційного потенціалу.

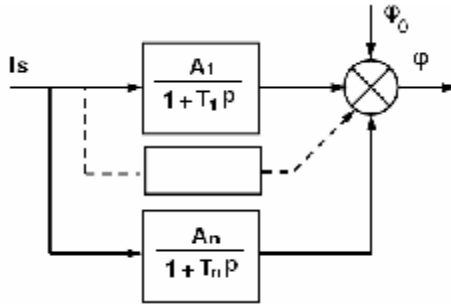
Динамічна модель характеризується рядом статичних коефіцієнтів перенапруги  $A_i$  та відповідних сталих часу  $T_i$ . На основі динамічної моделі перехідний процес спаду перенапруги описується наступною залежністю:

$$h(t) = I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-t/T_i}.$$

$$\text{Умови даної залежності: } T_i < T(i+1), \quad I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i = X,$$

де  $X$  – поляризаційний опір системи при заданій щільності струму поляризації  $I_s$ .

Структурна схема об'єкту - залізобетону при катодному захисті в системі діагностики поляризаційного потенціалу представлена на рисунку.



Для розв'язку вихідного диференційного рівняння був введений параметр сталої часу діагностичного контуру:  $T_d = R_p \cdot C_{\text{діаг}}$ .

Підставивши перехідну функцію спаду поляризаційного потенціалу було отримано наступне диференціальне рівняння:

$$U_{\text{еп}}(t) + T_d \frac{dU_{\text{еп}}}{dt} = I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-t/T_i} + j_0.$$

Рішенням даного рівняння є функція:

$$U_{\text{еп}}(t) = (U_{\text{еп}} - I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \frac{T_i}{T_i - T_d} - j_0) \cdot e^{-t/T_d} + \\ + I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \frac{T_i}{T_i - T_d} e^{-t/T_i} + j_0,$$

де  $U_{\text{еп}}$  – величина, що знімається з електрода порівняння до обриву струму поляризації.

Тоді можна одержати й вираз для динамічної похибки  $\Delta U_R(t)$ .

$$\Delta U_R(t) = (U_{\text{еп}} - I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \frac{T_i}{T_i - T_d} - j_0) \cdot e^{-t/T_d} - \\ - I_s \cdot \sum_{i=1}^n A_i \frac{T_d}{T_i - T_d} e^{-t/T_i} + j_0.$$

При умові  $T_d = T_i$  члени ряду діагностичного каналу  $T_d$  для максимальної величини поточного опору поляризаційного середовища, що очікується, та для максимальної, необхідної величини щільності струму поляризації і

відповідних довідникових параметрів моделі  $A_i - T_i$ , що отримуються заздалегідь на основі експериментальних досліджень.

**Висновки.** Таким чином нами була отримана математична модель системи «об'єкт керування – діагностичний канал», синтезована математична залежність величини динамічної похибки виміру перехідної функції поляризаційного потенціалу з параметрами об'єкту – залізобетону та параметрами каналу діагностичної системи. Залежність дозволяє розв'язувати питання технічної реалізації, як самого комутаційного методу контролю поляризаційного потенціалу, так і питання зняття його перехідної функції.

Аналітична залежність може бути використана при розв'язку наступних задач:

1. Знаходження мінімального, критичного часу заміру поляризаційного потенціалу, що забезпечує потрібну точність, при заданих технічних параметрах діагностичної системи та експлуатаційних параметрах об'єкту.
2. Підбір електричних параметрів вимірювальної системи для заданих конструктивних та експлуатаційних умов застосування системи катодного захисту.
3. Оцінка динамічної похибки при отриманні перехідного процесу спаду поляризаційного потенціалу в системі катодного захисту.

Актуальним є питання щодо отримання математичних виразів відносно різноманітних конструктивних особливостей геометричного розташування арматури у бетоні при проектуванні системи діагностики.

**Список літератури:** 1. *Панченко В.А.* „Опыт применения и перспективы развития катодной защиты железобетонных транспортных сооружений”. Наукові праці українського міжгалузевого науково-практичного семінару “Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення” 22 – 23 червня 2000 р. м. Київ. Тематичний випуск збірника “Автомобільні дороги та дорожнє будівництво”, 2000.-№59. С 174-177. 2. *Панченко В.О., Галай М.В.* «Модельовання поляризаційних процесів в системі катодного захисту залізобетону з комутаційним методом контролю поляризаційного потенціалу» // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «НАУКА і ОСВІТА 2004» 10-25 лютого 2004 року, с.61.

*Поступила в редколегію 10.11.08*